

Mobiler Roboterassistent Care-O-Bot 3: Entwicklung, Fähigkeiten und Einsatzmöglichkeiten

Birgit GRAF¹, Ulrich REISER, Jan FISCHER
Fraunhofer Institut für Produktionstechnik
und Automatisierung – IPA

Care-O-bot Entwicklungshistorie

Das Fraunhofer IPA beschäftigt sich seit über zehn Jahren mit der Entwicklung eines mobilen Roboterassistenten „Care-O-bot[®]“ zur Unterstützung des Menschen im Haushalt. Insbesondere hilfsbedürftigen Personen kann dadurch mehr Selbstständigkeit ermöglicht und gegebenenfalls sogar der unliebsame Umzug in stationäre Pflegeeinrichtungen verhindert werden.

Der erste Care-O-bot Prototyp (Bild 1 links, Mitte) wurde 1998 am Fraunhofer IPA aufgebaut [1]. Der Roboter bestand aus einer mobilen Basisplattform sowie einem dreh- und schwenkbaren Touchscreen, der eine intuitive Kommunikation mit Menschen ermöglichte. Care-O-bot I war bereits in der Lage, sich sicher und verlässlich zwischen Menschen zu bewegen. Damit konnte er einfache Transportaufgaben im Haushalt durchführen. Zudem wurde er bei zahlreichen Gelegenheiten erfolgreich als Messe- und Ausstellungsführer eingesetzt und diente als Basis für die Entwicklung dreier Roboter, die im Berliner Museum für Kommunikation seit inzwischen über zehn Jahren tagtäglich die Besucher unterhalten und informieren (Bild 1 rechts).

Care-O-bot II (Bild 2), gebaut im Jahr 2002, war zusätzlich mit einem Manipulator, höhenverstellbaren Gehstützen und einem kippbaren Sensorkopf, der zwei Kameras und einen Laserscanner zur Umgebungserfassung enthielt, ausgestattet [2]. Der Manipulator wurde

¹ Kontakt: birgit.graf@ipa.fraunhofer.de, Web: www.care-o-bot.de



Bild 1: Care-O-bot[®] I, Einsatz auf der Messe „Alter und Pflege“ und Museumsroboter im Berliner Museum für Kommunikation

speziell für den Einsatz im Heimbereich entwickelt und war in der Lage, mit Hilfe eines flexiblen Greifers unterschiedliche Objekte wie Teller, Tassen und Flaschen zu handhaben. Ein Tablett-PC wurde verwendet, um den Roboter zu kommandieren und zu überwachen. Neben der Fähigkeit zur autonomen Navigation, die bereits im Care-O-bot I umgesetzt worden war, war der zweite Prototyp zusätzlich in der Lage, einfache Manipulationsaufgaben auszuführen und konnte als intelligente Gehhilfe genutzt werden [3].



Bild 2: Care-O-bot[®] II, Getränkeübergabe und Einsatz als intelligente Gehhilfe

Care-O-bot 3 (Bild 3, Bild 4) wurde 2008 erstmals der Öffentlichkeit vorgestellt und ist die neueste Generation der Entwicklungsserie. Im Gegensatz zu seinem Vorgänger ist der Roboter mit einem omnidirektionalen Antriebssystem ausgestattet, das ihm die notwendige Flexibilität gibt, die für den Einsatz in typischen, oft engen Hausumgebungen benötigt wird [4]. Zudem ist Care-O-bot 3 mit einem kommerziellen Handhabungsarm, einer 3-Finger-Hand sowie einem

3-D-Sensorsystem ausgestattet, mit dessen Hilfe er verschiedene Gegenstände erkennen und lokalisieren sowie Greifvorgänge autonom planen und durchführen kann.

Sein neuartiges Interaktionskonzept ermöglicht es Care-O-bot 3, mithilfe eines Tablett Gegenstände an den Menschen zu übergeben und von diesem entgegenzunehmen. Der auf der Rückseite des Roboters angebrachte Arm wird lediglich eingesetzt, um die Gegenstände auf das Tablett zu stellen oder von diesem wegzunehmen und wird gestoppt, sobald Personen in der Nähe des Roboters erkannt werden. Indem der direkte Kontakt des Menschen mit dem Roboterarm vermieden wird, bietet Care-O-bot 3 erstmalig eine Basis für die sichere Übergabe von Gegenständen zwischen einem Benutzer und einem mobilen, manipulierenden Roboter. Da dem Benutzer das Konzept der Interaktion über ein Tablett grundsätzlich vertraut ist, soll diese Form der Interaktion außerdem dazu dienen, die Akzeptanz des Roboters insbesondere bei Personen mit geringem Technikinteresse zu steigern [5].



Bild 3: Care-O-bot[®]3, Bedienung der Gäste eines Sektempfangs und Visualisierung des Interaktionskonzepts

Das Designkonzept des Care-O-bot[®]3 entstand auf Basis verschiedener Untersuchungen zur intuitiven Mensch-Roboter-Interaktion. Diese ergaben unter anderem, dass das Design eines Roboters dem Nutzer unterschwellig seine Stärken und Fähigkeiten übermittelt. Passen die Fähigkeiten nicht mit den vermittelten Kompetenzen überein, führt dies automatisch zu einer Enttäuschung des Nutzers. Aufgrund seiner spezialisierten Funktion als Haushaltshilfe und Butler soll Care-O-bot 3 nicht als Abbild des Menschen gesehen werden, sondern eher als ein mit erweiterter Funktionalität ausgestattetes Haushaltsgerät.

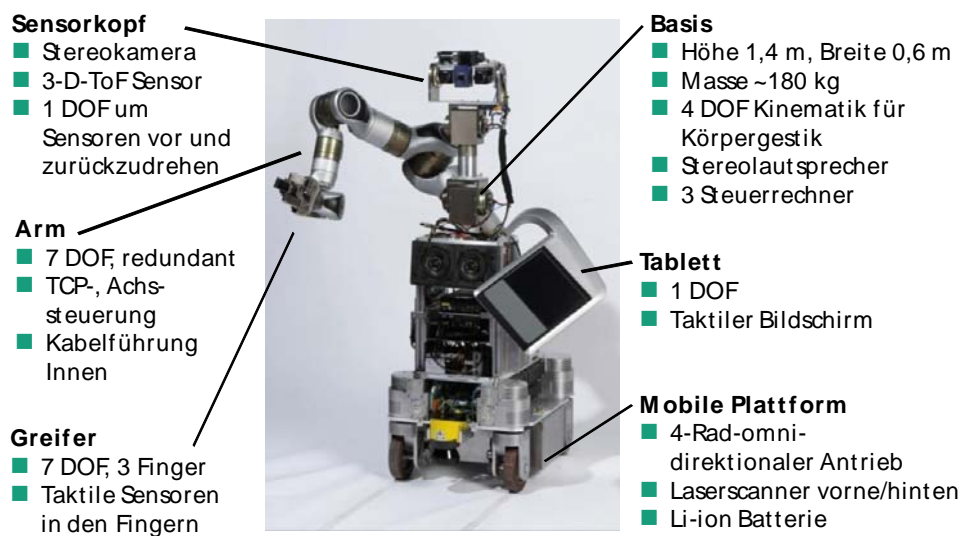


Bild 4: Care-O-bot[®] 3 Hardwarekomponenten

Schlüsseltechnologien und Fähigkeiten

Neben der alltagstauglichen Navigation, die bereits mit den Vorgängermodellen umgesetzt wurde, sind wichtige Schlüsseltechnologien für den Einsatz manipulierender Serviceroboter im Haushalt, insbesondere für die Durchführung von Hol- und Bringdiensten, die Erkennung und Lokalisierung der zu greifenden Objekte sowie die kollisionsfreie mobile Manipulation [6]. Diese Technologien werden im Folgenden weiter ausgeführt.

Lernfähige Objekterkennung

Als Basis für das selbstständige Greifen muss ein Haushaltsroboter verschiedene Gegenstände in der Umgebung erkennen und präzise lokalisieren. Um ein möglichst genaues dreidimensionales Bild der Umgebung zu erfassen, werden die Daten des Stereokamerasystems und der Tiefenbildkamera, die im Kopf von Care-O-bot 3 integriert sind, zu einem hochauflösenden Tiefenbild zusammengeführt (Bild 5). Durch die Zusammenführung der Abstands- mit den Farbdaten wird

ein sogenanntes kalibriertes Farbbild errechnet, das in jedem Pixel sowohl Farb- als auch Abstandswerte bereitstellt.

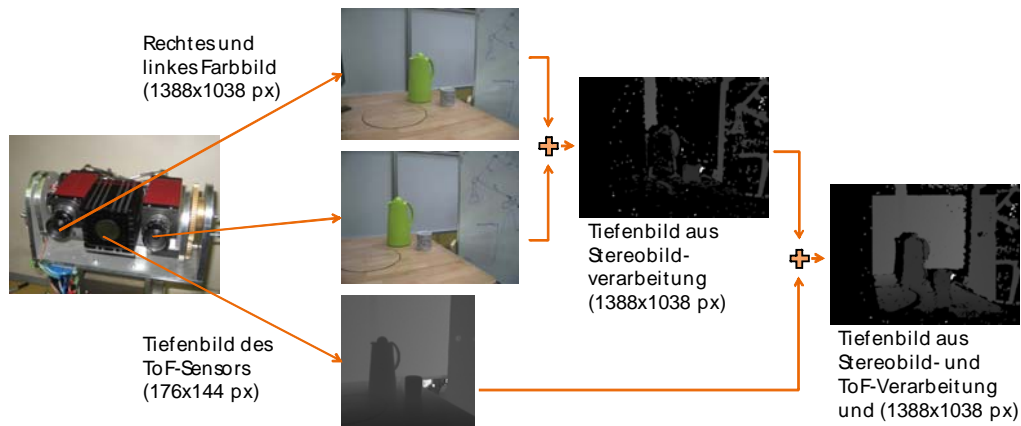


Bild 5: Fusion von Stereokamera- und 3-D-ToF-Daten

Objekte werden durch sogenannte „6-D-Merkmalpunktwolken“ repräsentiert. Diese bezeichnen eine Menge von 3-D-Punkten, die im Farb- und Tiefenbild bestimmten wiedererkennbaren Mustern zugeordnet werden können. Neue Objektmodelle können durch den Roboter selbstständig erlernt werden, z. B. indem ein Objekt vor ihm gedreht oder ihm in die Hand gegeben wird [7]. Die einzelnen Verarbeitungsschritte des Lernverfahrens sind in Bild 6 dargestellt: Nach der Aufnahme und Zusammenführung der Bilddaten findet anhand der Rotationsbewegung des Objektes im Kontrast zu seinem statischen Hintergrund eine Segmentierung der Objektdaten statt. Für die segmentierten Objektansichten werden die entsprechenden Merkmalspunkte errechnet und die Einzelansichten zu einem einzigen 3-D-Objektmodell zusammengeführt.

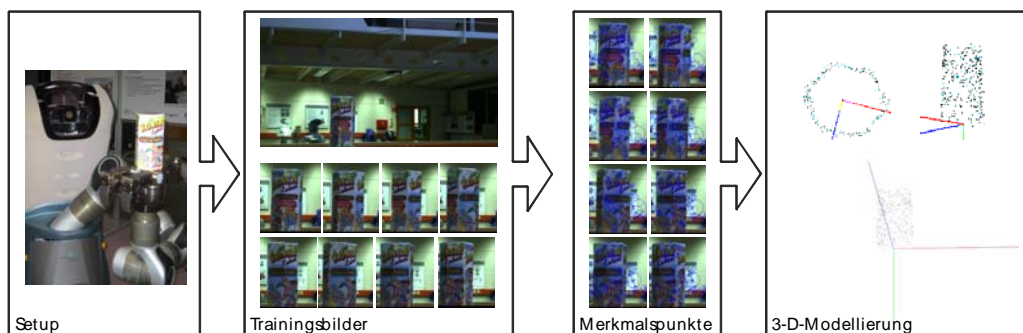


Bild 6: Algorithmus für die Erstellung von Objektmodellen

Um ein bestimmtes Objekt in einer vorgegebenen Szene aufzuspüren, werden zunächst alle in der Szene aufgespürten Merkmale zu einer Szenenmerkmalspunktwolke zusammengefügt. In dieser wird nachfolgend nach möglichen Korrespondenzen mit der Merkmalspunkt- wolke des gesuchten Objekts gesucht (Bild 6).



Bild 7: Erkennung und Lokalisierung unterschiedlicher Objekte

Kollisionsfreie Manipulation

Für den Einsatz von Care-O-bot 3 in Alltagsumgebungen ist es unerlässlich, dass Handhabungsaufgaben auch in dynamischen Umgebungen kollisionsfrei durchgeführt werden. Die Kollisionsüberwachung umfasst sowohl Eigenkollisionen des Roboters (z. B. ein Roboterarm mit dem Torso) als auch Kollisionen mit der Umgebung.

Basis für die kollisionsfreie Manipulation ist eine Modellierung des Roboteraufbaus (Eigenmodell) sowie der Umgebung des Roboters durch ein 3-D-Hindernismodell. Dieses Umgebungsmodell enthält zum einen vormodellierte statische Hindernisse sowie dynamische Hindernisse, die durch die Sensorik kontinuierlich aktuell gehalten werden. Auf Basis des Roboter-Eigenmodells und des Umgebungsmodells werden die Bewegungsplanung sowie eine Online-Kollisionsüberwachung durchgeführt. Während die Bewegungsplanung dazu dient, bekannte Hindernisse durch geeignete Manipulatorbewegung zu vermeiden, dient die Online-Kollisionsüberwachung zur fortwährenden Überprüfung des gewählten Pfades, um z. B. auf schnell bewegliche Hindernisse, die zum Zeitpunkt der Bewegungsplanung noch nicht bekannt waren, durch Verlangsamung oder Stopp der Bewegung zu reagieren.

Durch die momentanen Gelenkstellungen sowie deren Geschwindigkeitsvektoren wird zunächst das Eigenmodell aktualisiert, mit Hilfe dessen drohende Kollisionen des Roboters mit sich selbst (Bild 8 links) oder der statischen Umgebung (Bild 8 Mitte) erkannt werden können. Nach Aktualisierung des Umgebungsmodells können auch dynamische Hindernisse berücksichtigt werden.

Für das geplante Greifen und Manipulieren von Objekten ermittelt der Bewegungsplaner, ausgehend von der aktuellen Roboterkonfiguration, einen kollisionsfreien Pfad zur Zielkonfiguration. Optimalerweise ist der Bewegungsplaner so schnell, dass die Online-Kollisionsüberwachung nur selten durch Notstopp zum Einsatz kommen muss. In einer Offline- und Preprocessing-Phase wird deshalb zunächst eine Bewegungskarte generiert, die kollisionsfreie Konfigurationen (als Knoten) sowie kollisionsfreie Übergänge (als Kanten) in einem Graphen zusammenstellt [8]. Die Kollisionsfreiheit dieser Bewegungskarte bezieht sich dabei nur auf das Eigenmodell. Zusätzlich werden nun alle Knoten und Kanten des Graphen auf ein 3-D Belegungs-Gitter der Umgebung bezogen (Bild 8 rechts), so dass eine Zuordnung zwischen den einzelnen Zellen und derjenigen Knoten und Kanten des Graphen entsteht, die diese Zellen in Form des Robotermodells belegen.

In einer zweiten Phase, der Planungsphase, werden nun lediglich die Hindernisse des aktuellen Umgebungsmodells in das Belegungs-gitter eingetragen, so dass unmittelbar entsprechende Teile der Roadmap für die Pfadsuche blockiert werden können. In der restlichen noch gültigen (d. h. kollisionsfreien) Roadmap kann nun sehr schnell ein Pfad gefunden werden, ohne dass für jede Zwischenposition teure Kollisionschecks durchgeführt werden müssen (Bild 8 rechts).

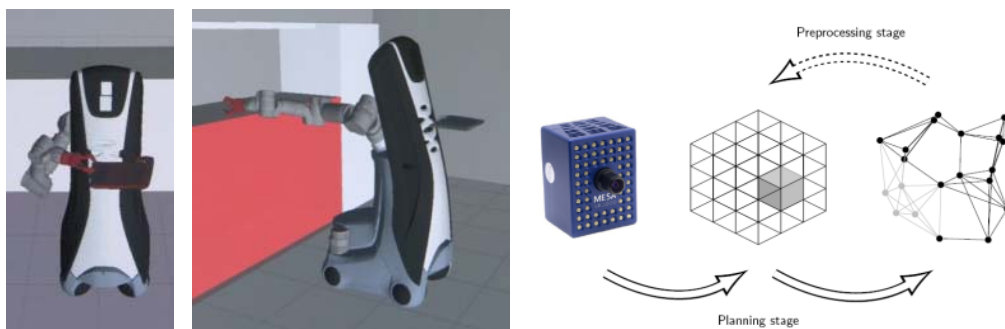


Bild 8: Erkennung potentieller Eigenkollisionen und Kollisionen mit der Umgebung, Prinzip des Bewegungsplaners für dynamische Umgebungen.

Care-O-bot 3 im Praxiseinsatz

Als Technologieplattform bietet Care-O-bot 3 nicht nur die Basis für die Erprobung und Weiterentwicklung wichtiger Schlüsselkomponenten der mobilen Robotik, sondern kann auch schon für die Lösung einfacher Assistenzaufgaben, wie z. B. dem Servieren von Getränken, eingesetzt werden. Im Rahmen aktueller Forschungsarbeiten werden mit dem Roboter weitere Haushalts- und Assistenzaufgaben praxisnah umgesetzt und erprobt.

Messen und Veranstaltungen

Care-O-bot 3 wurde auf der AUTOMATICA 2008 erstmals der Öffentlichkeit vorgestellt. Weitere Öffentlichkeitsauftritte folgten im November 2008 bei der Eröffnung des Fraunhofer inHaus2 in Duisburg sowie bei der langen Nacht der Forschung in Wien, wo der Roboter den Veranstaltungsbesuchern eigenständig Getränke servierte. Dieses Szenarium wurde auch in Japan auf der iRex 2008 vorgestellt, wo der Roboter mit den Besuchern auf Japanisch kommunizierte und vier Tage lang Getränke an diese ausgab. Über den Touchscreen konnte das gewünschte Getränk ausgewählt werden, das der Roboter auf einer Küchentheke dann selbstständig erkannte, griff und dem Besucher mit Hilfe seines Tablettts servierte.



Bild 9: Care-O-bot 3 auf der iRex: Bestellung per Touchscreen, Greifen des gewünschten Getränks, Übergabe mit Verbeugung

Praxisevaluierung im Altenpflegeheim

Das Projekt WiMi-Care (www.wimi-care.de) beschäftigt sich mit Einsatzfeldern für Serviceroboter, die es ermöglichen, das Personal stationärer Pflegeeinrichtungen in seiner täglichen Arbeit zu entlasten. Dabei wurden insbesondere zeitraubende Routinetätigkeiten des Pflegepersonals betrachtet, die keine direkten Pflegetätigkeiten am Menschen sind. Auf Basis einer Bedarfsanalyse und durch Abgleich der geforderten, technisch machbaren Funktionen wurden als Aufgaben des Care-O-bot 3 die Versorgung der Bewohner mit Getränken sowie die Bereitstellung von Unterhaltungsfunktionen wie das Abspielen von Musik, Vorlesen oder einfacher Gedächtnisspiele definiert. Die Szenarien wurden als Storyboards visualisiert (Bild 10) und mehrfach mit den Pflegekräften diskutiert und an deren Anforderungen angepasst.



Bild 10: Szenario zur Getränkeversorgung – Visualisierung als Storyboard

Für eine erste Praxisevaluierung in einem Altenpflegeheim im Mai 2010 wurde das Szenarium zur Versorgung der Bewohner mit Wasser umgesetzt. Die Aufgabe von Care-O-bot 3 bestand darin, einen Becher mit Wasser aus einem Küchenbereich zu holen, diesen über einen etwa 30 Meter langen Flur zu einem Aufenthaltsraum zu transportieren und den Bewohnern dort am Tisch anzubieten. Für die Übergabe fuhr der Roboter an die Personen am Tisch heran und forderte sie mit Hilfe von Sprachausgaben dazu auf den Becher zu nehmen und zu trinken. Das Holen des Wassers erfolgt entweder durch Greifen eines vollen Bechers von einer Theke im Küchenbereich oder durch selbstständiges Zapfen an einem Wasserspender.

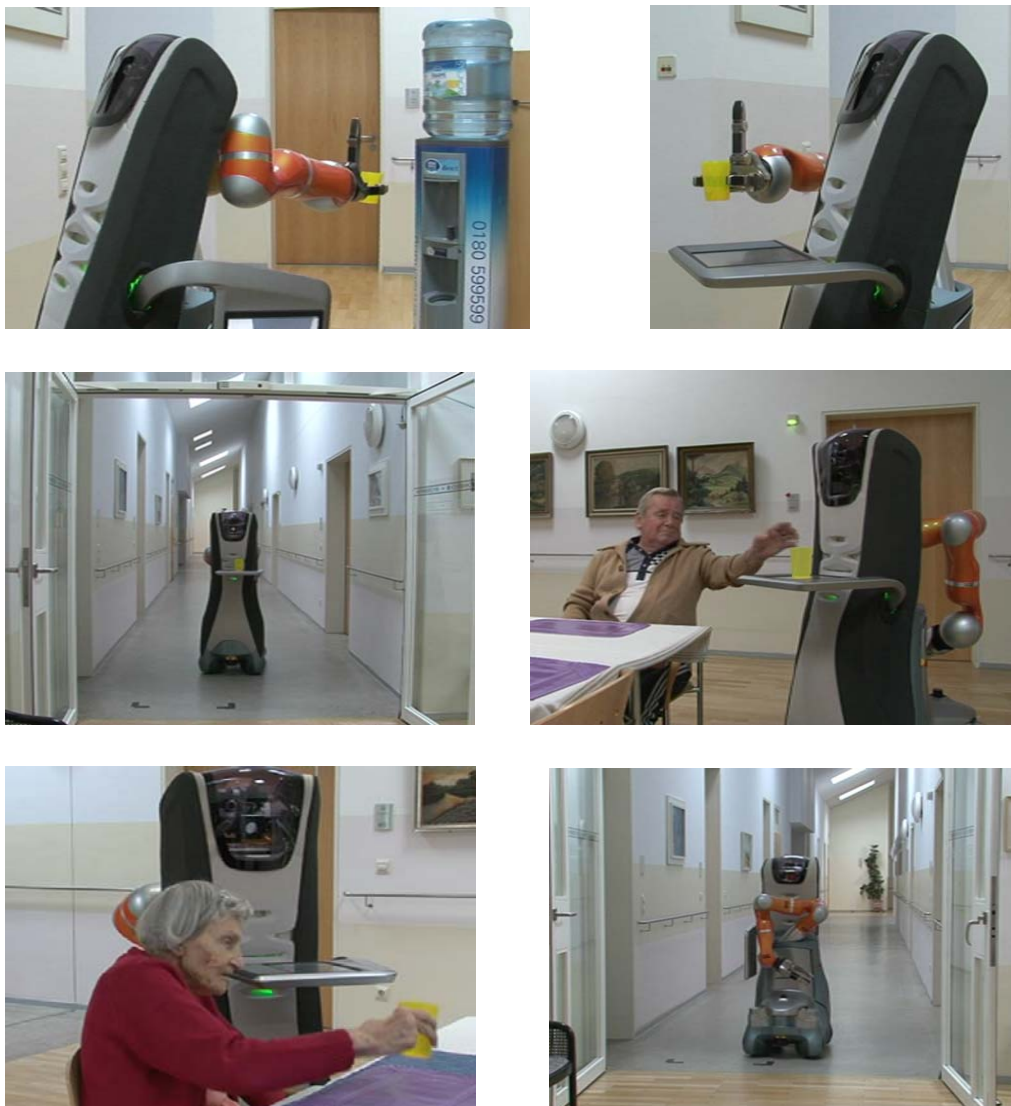


Bild 11: Care-O-bot 3 beim Getränkediens: Wasser zapfen und auf das Tablett stellen, zum Aufenthaltsraum fahren, Wasser anbieten und überreichen und zur Küche zurückfahren

Die Reaktion auf Care-O-bot 3 war während der fünftägigen Pilotphase durchweg positiv, sowohl beim Personal als auch bei den Bewohnern. Die Bewohner nahmen den Becher üblicherweise vom Tablett, allerdings tranken nur wenige das Wasser. Dies war vermutlich darauf zurückzuführen, dass den Bewohnern bewusst war, dass es sich um einen Testbetrieb handelte. Zudem fand weiterhin eine Versorgung durch das Pflegepersonal statt. Die Pflegekräfte traten dem Roboter grundsätzlich unvoreingenommen gegenüber. Grund dafür ist, dass sie von Anfang an in den Entwicklungsprozess mit eingebunden worden waren und damit in den Robotern keine

Konkurrenz, sondern vielmehr ein Hilfsmittel zur Vereinfachung ihrer Arbeit sahen, das sie zudem selbst mitgestaltet hatten.

In dem ca. 30 Meter lange Gang vom Küchenbereich zum Aufenthaltsbereich bewegten sich häufig Bewohner – teilweise mit Gehhilfen oder Rollstühlen. Außerdem wurde der Gang oft durch vom Pflegepersonal mitgeführte Handwagen, beispielsweise für Putzmittel oder Pflegeutensilien, ganz oder teilweise blockiert. Durch die flexible Navigation des Care-O-bot 3 konnten diese Hindernisse erfolgreich passiert werden. Das Greifen des Wassers von der Theke im Küchenbereich funktionierte auf Antrieb sehr zuverlässig. Das Zapfen vom Wasserspender wurde ebenfalls mehrere Male erfolgreich durchgeführt.

Für die zweite Pilotphase im Juni 2011 soll Care-O-bot 3 zusätzlich in der Lage sein, beim Betreten eines Aufenthaltsraumes die anwesenden Personen zu erkennen und zu identifizieren. Dadurch können ausgegebene Getränke protokolliert und Bewohner, die zu wenig getrunken haben, gezielt angesprochen werden. Außerdem sollen die Kameras im Kopf des Roboters dazu genutzt werden, Becher auf Tischen oder auf dem Tablett des Roboters zu erkennen, so dass das System grundsätzlich robuster wird. Des Weiteren sollen das Unterhaltungsszenarium sowie eine Benutzeroberfläche implementiert werden, über die das Personal den Einsatzplan für den Roboter eingeben kann.

Teleoperierter Betrieb im häuslichen Umfeld

Ziel des Projekts SRS (Multi-Role Shadow Robotic System for Independent Living, www.srs-project.eu) ist die Weiterentwicklung und Erprobung von Care-O-bot 3 im teleoperierten, teilautonomen Betrieb, mit dem Ziel, ältere Personen im häuslichen Umfeld zu unterstützen. Als „Shadow Robot“ stellt Care-O-bot 3 einen „Schatten“ seiner Benutzer, z. B. der Kinder oder Verwandten der zu versorgenden Person, dar. Mit Hilfe des Roboters können diese der älteren Person aktiv Unterstützung bieten, so als ob sie selbst vor Ort wären. Dabei ist der Roboter in der Lage, aus der Teleoperation zu lernen und dadurch mehr und mehr Unterstützung auch im autonomen Betrieb zu bieten.

Literatur

- [1] Schraft, R.D.; Schaeffer, C.; May, T.: The Concept of a System for Assisting Elderly or Disabled Persons in Home Environments. In Proc. The 24th IEEE International Conference on Industrial Electronics, Control & Instrumentation (IECON), Vol. 4, Aachen, Germany, 1998.
- [2] Graf, Birgit; Hans, Matthias; Schraft, Rolf Dieter: “Care-O-bot II – Development of a Next Generation Robotic Home Assistant.” In: Autonomous Robots 16 (2004), Nr. 2, pp. 193–205.
- [3] Graf, Birgit: Ein benutzer- und umgebungsangepasstes Steuerungssystem für die Zielführung roboterbasierter Gehhilfen. Heimsheim: Jost-Jetter Verlag, 2008 (IPA-IAO Forschung und Praxis; 473). Stuttgart, Univ., Fak. Konstruktions-, Produktions- und Fahrzeugtechnik, Inst. für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb, Diss. 2008.
- [4] Connette, Christian P.; Parlitz, Christopher; Hägele, Martin; Verl, Alexander: Singularity Avoidance for Over-Actuated, Pseudo-Omnidirectional, Wheeled Mobile Robots. In: Institute of Electrical and Electronics Engineers: Proceedings of the 2009 IEEE International Conference on Robotics and Automation: CD-ROM. May 12–17, 2009, Kōbe, Japan. Piscataway, NJ : IEEE, 2009.
- [5] Parlitz, Christopher; Hägele, Martin; Klein, Peter; Seifert, Jan; Dautenhahn, Kerstin “Care-O-bot 3 — Rationale for Human-Robot Interaction Design.” In: International Federation of Robotics u.a.: ISR 2008: 39th International Symposium on Robotics, 15.–17. Oct. 2008, Seoul, Korea, 2008, pp. 275–280.
- [6] Ulrich Reiser, Christian Connette, Jan Fischer, Jens Kubacki, Alexander Bubeck, Florian Weisshardt, Theo Jacobs, Christopher Parlitz, Martin Hägele, Alexander Verl: Care-O-bot 3 — Creating a Product Vision for Service Robot Applications by Integrating Design and Technology. In: The 2009 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), St. Louis, USA, pp. 1992–1997.

- [7] Arbeiter, Georg; Fischer, Jan; Verl, Alexander: 3D Perception and Modeling for Manipulation on Care-O-bot® 3. In: IEEE/Robotics and Automation Society: 2010 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA 2010): Conference Digest. Anchorage, Alaska, USA, May 3–8, 2010. Piscataway, NJ, USA: IEEE Press, 2010, 5 pages.
- [8] Kunz, Tobias; Reiser, Ulrich; Stilman, Mike; Verl, Alexander: Real-Time Path Planning for a Robot Arm in Changing Environments. In: Institute of Electrical and Electronics Engineers u.a.: IEEE/RSJ 2010 International Conference on Robots and Intelligent Systems: Intelligent Robotics in the Next Transition, Taipei, Taiwan, Oct. 18–22, 2010. Piscataway, NJ: IEEE, 2010, pp. 5906–5911.